

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора **Гришака Віктора Захаровича**
на дисертаційну роботу **Бессмертного Ярослава Олеговича**
**«Деформування та стійкість пологих тонкостінних конічних оболонок
при зовнішньому тиску та неоднорідному напружено-деформованому стані»**,
представленої на здобуття наукового ступеня кандидат технічних наук
за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

Роботу виконано в Придніпровській державній академії будівництва та архітектури. Науковий керівник – Красовський Василь Леонідович, професор кафедри будівельної і теоретичної механіки та опору матеріалів.

Повний об'єм дисертації становить 175 сторінок і включає 6,272 авт. арк. основного тексту, 42 рисунки, 25 таблиць, список використаних джерел зі 162 найменувань на 16 сторінках. Автореферат дисертації містить 24 сторінки.

Актуальність теми. В сучасному будівництві, проектування пологих тонкостінних конічних оболонок часто пов'язано з необхідністю враховувати не тільки роботу конструкції за умови однорідного в окружному напрямку напружено-деформованого стану, але й за умови неоднорідного НДС. Одними з основних причин неоднорідного в окружному напрямку НДС можуть бути: 1) дія зовнішнього однорідного тиску при періодично дискретному закріпленні краю (приклад - конічна оболонка, що розташована на нерухомих опорах з певною періодичністю); 2) дія комбінації навантажень у вигляді одночасної дії зовнішнього однорідного тиску та сили, прикладеної у точці (приклад - дія снігу або вакуумування внутрішнього простору резервуар при зливі рідини при одночасній дії ваги людини з оснасткою або певної конструкції на поверхні оболонки); 3) дія вітрового навантаження на поверхню оболонки.

Робота Бессмертного Я.О. присвячена дослідженню деформування та стійкості пологих тонкостінних конічних оболонок при зовнішньому тиску та неоднорідному НДС, причиною якого є вищевказані причини.

Дисертаційна робота виконана згідно з напрямком наукової діяльності кафедри будівельної і теоретичної механіки та опору матеріалів Придніпровської державної академії будівництва та архітектури та відповідно науково-дослідницької програми «Міцність, жорсткість, стійкість і коливання однорідних і неоднорідних стержнів, пластин, оболонок та композитних конструкцій, включаючи об'єкти біологічного походження» (номер державної реєстрації 0116U006049, 2016-2020 рр., рівень участі здобувача – відповідальний виконавець).

Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій. Наукові положення дисертації ґрунтуються на використанні загально-прийнятих теоретичних положень аналізу сучасного стану науково-технічної та нормативної літератури, реалізації практичних рішень, чіткого формулювання

Взр. № 7 - 05/234

25.11.2021

задач досліджень, постановки чисельних дослідів зі статистичною обробкою їх результатів, використання методу скінчених елементів (МСЕ) із застосуванням сучасного програмного забезпечення для оцінювання напружено-деформованого стану пологих тонкостінних конічних оболонок.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджується комплексом теоретичних та експериментальних досліджень процесу деформування та втрати стійкості пологих тонкостінних конічних оболонок при дії зовнішнього тиску та за умови неоднорідного НДС.

Це дозволило здобувачу уточнити методи прогнозування виникнення ефекту статичного резонансу при періодично неоднорідному в окружному напрямку НДС, створити вдосконалену розрахункову модель вітрового навантаження та розробити ряд рекомендацій по оптимізації проектування пологих тонкостінних конічних оболонок.

Основні висновки логічно та обґрунтовано витікають з проведених досліджень, що підтвердило достатню відповідність дослідних даних їх розрахунковим величинам.

Достовірність і наукова новизна проведених досліджень. Достовірність досліджень базується на проведенні експериментальних досліджень, розробленні теоретичних і практичних рішень для встановлення напружено-деформованого стану пологих тонкостінних конічних оболонок, а також перевірці адекватності експерименту розрахунковим положенням.

Наукова новизна досліджень полягає у тому, що:

- дістало подальший розвиток дослідження поведінки пологих конічних оболонок при періодично неоднорідному напружено-деформованому стані, обумовленому періодично дискретним закріпленням краю при дії однорідного нормального тиску та отримано точну залежність для прогнозування ефекту «статичного резонансу»;

- удосконалено методику дослідження поведінки пологих конічних оболонок при неоднорідному НДС, обумовленому неперіодичним невісесиметричним комбінованим навантаженням однорідним тиском та сконцентрованою у точці силою, та досліджено поведінку розглянутих оболонок при найнесприятливіших умовах на території України згідно до нормативних документів;

- удосконалено ступінь відповідності результатів чисельного дослідження поведінки пологих конічних оболонок з використанням ПК ANSYS у порівнянні з результатами, що були отримані у ході проведення фізичного експерименту над серією малогабаритних зразків пологих тонкостінних конічних оболонок;

- удосконалено дослідження поведінки пологих конічних тонкостінних оболонок за умови дії вітрового навантаження згідно до рекомендацій та нормативних значень вітру у ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження та впливи».

Висновком представлених досліджень є оптимізація процесу проектування пологих тонкостінних конічних оболонок, а також аналізу НДС вже існуючих конструкцій, за рахунок уточнення методів прогнозування ефекту статичного резонансу, визначенні області оптимального розташування сили при комбінованому навантаженні, а також розробці вдосконаленої моделі вітрового навантаження пологої конічної оболонки.

Повнота відображень основних положень дисертації у виданих роботах. За темою дисертації опубліковано 10 наукових праць, зокрема у 7 статтях, з яких: 3 статті у наукових фахових виданнях України, 2 статті з цитуванням у наукометричній базі SCOPUS, 2 статті у додаткових наукових виданнях та 3 тез за матеріалами конференцій. Видані матеріали достатньо повно висвітлюють основні положення роботи.

Ідентичність автореферату основним положенням дисертації. Автореферат складено на державній мові. Його написано в методичному плані логічно та послідовно, добре проілюстровано. Він містить необхідний матеріал для достатнього сприйняття результатів досліджень і віддзеркалює сутність досліджень. Автореферат відповідає змісту дисертації.

Аналіз змісту дисертації. Дисертація містить вступ, 5 розділів і висновки.

1. *Короткий огляд літератури і сучасний стан питання дослідження* (розділ 1) присвячено аналізу історії досліджень процесу деформування та стійкості пологих тонкостінних конічних оболонок як в лінійній, так і в нелінійній постановці, методів досліджень НДС конічних тонкостінних оболонок, а також наведено попередні дослідження пологих тонкостінних конічних оболонок з застосуванням програмних комплексів ANSYS та ЛПА. Автором було висвітлено ряд невивчених питань або таких, які потребують додаткового уточнення. Розглянуті джерела інформації, в цілому, вважаю достатніми. Принципових зауважень з огляду немає.

2. *Методика чисельного дослідження деформування і стійкості пологих конічних оболонок у середовищі ПК ANSYS* (розділ 2). Даний розділ присвячено описанню та аналізу методики проектування та розрахунку пологих тонкостінних конічних оболонок з використанням сучасного програмного забезпечення (ANSYS, ЛПА). Автором обґрунтовано вибір скінченного елемента (СЕ), що було застосовано при моделюванні скінчено-елементної моделі. Також автор аналізує методи, які застосовуються в ПК ANSYS для рішення нелінійних задач процесу деформування пологих тонкостінних конічних оболонок. Автором оптимізовано комбінацію стартових параметрів, які задаються до початку виконання лінійних та геометрично нелінійних розрахунків в середовищі ПК ANSYS, що дозволяє отримати точні значення несучої здатності оболонок при мінімальних затратах людських та машинних ресурсів.

3. *Деформування та стійкість пологих конічних оболонок при зовнішньому тиску та періодично неоднорідному напружено-деформованому стані*

(чисельний та фізичний експеримент) (розділ 3). Даний розділ присвячено детальному дослідженню процесу деформування та втрати стійкості пологих тонкостінних конічних оболонок при зовнішньому тиску та неоднорідному НДС, обумовленому періодично дискретним закріпленням краю оболонки. Автором проведено ряд фізичних експериментів в лабораторних умовах з малогабаритними зразками пологих тонкостінних конічних оболонок, а також виконано чисельне моделювання декількох серій оболонок у середовищі ПК ANSYS. Автором було виконано аналіз результатів, отриманих у ході виконання лабораторного та чисельного дослідження, завдяки чому було виведено точну залежність для прогнозування появи ефекту статичного резонансу для пологих конічних оболонок. Детально описано процес деформування та втрати стійкості пологої конічної оболонки при рішенні задачі втрати стійкості в нелінійній постановці. За результатами даного розділу автором було складено ряд рекомендацій, корисних для проектування майбутніх та аналізу НДС вже існуючих споруд, елементами яких є пологі тонкостінні конічні оболонки.

4. *Деформування та стійкість пологих конічних оболонок та сферичних сегментів при дії комбінованого навантаження у середовищі ПК ANSYS* (розділ 4). Даний розділ присвячено дослідженню процесу деформування та втрати стійкості пологих тонкостінних конічних оболонок при суттєво неоднорідному НДС, причиною якого є дія комбінованого навантаження зовнішнім рівномірним тиском та силою, що прикладена у точці. Автором зазначено, що аналіз даної комбінації навантажень має практичну цінність у зв'язку з тим, що дана комбінація відтворює наступні умови експлуатації пологих тонкостінних конічних оболонок. Зовнішній рівномірний тиск відображає дію снігового навантаження або вплив зони розрідженого повітря всередині резервуару при зливі рідини. Сила, прикладена у точці, відображає дію ваги будь-якої конструкції або людини з оснасткою, що можуть знаходитися на поверхні пологої конічної оболонки. У результаті виконання чисельного дослідження у середовищі ПК ANSYS для двох серій великогабаритних пологих тонкостінних конічних оболонок, автором було зроблено висновок стосовно небезпечних областей розташування точки прикладання сили, коли несуча здатність оболонки різко знижується, і навпаки – безпечних областей розташування сили, коли її вплив на несучу здатність оболонки несуттєва. На основі аналізу результатів чисельного дослідження автором було складено ряд рекомендацій для проектування пологих тонкостінних конічних оболонок за умови дії комбінації навантажень – зовнішнього тиску та сили, прикладеної у точці.

5. *Деформування та стійкість пологих конічних оболонок та сферичних сегментів при дії вітру у середовищі ПК ANSYS* (розділ 5). Даний розділ є логічним продовженням теми дослідження процесу деформування та втрати стійкості пологих тонкостінних конічних оболонок при зовнішньому тиску та суттєво неоднорідному НДС, причиною якого є дія вітрового навантаження. Автором зазначено необхідність створення моделі вітрового навантаження

пологих конічних оболонок у зв'язку з тим, що необхідні дані відсутні у нормативних документах України ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження та впливи». В якості основи для даної моделі автором були обрані моделі вітрового навантаження для циліндричних та сферичних оболонок. Розрахунок процесу деформування конічних оболонок проводився у середовищі ПК ANSYS в лінійній та нелінійній постановці, а також при додатковому застосуванні вбудованих модулів ANSYS, які дозволили виконати аеродинамічне моделювання пологої конічної оболонки у повітряному потоці. Автором було виконано аналіз неоднорідного НДС пологих конічних оболонок з застосуванням як створеної розрахункової моделі, так і вбудованого модулю аеродинамічного моделювання, внаслідок чого було показано якісну відповідність процесі деформування пологих конічних оболонок при дії вітрового навантаження. Внаслідок виконання чисельного дослідження в рамках даного розділу, автором також було розроблено ряд рекомендацій, які можливо використовувати при проектуванні пологих тонкостінних конічних оболонок.

Загальні висновки дисертації реальні та у цілому відповідають поставленій меті та завданням досліджень. Робота має науково-практичне спрямування, експериментальні і чисельні дослідження взаємопов'язані і органічно доповнюють один одного. Здобувач чітко формулює висновки в кінці розділів і в роботі взагалі.

Дисертант показав володіння станом питання, здатністю проводити експериментальні та чисельні дослідження, а також виконувати обробку та аналіз отриманих результатів з формулювання наукових висновків.

Результати дослідження в достатній мірі апробовані на різних міжнародних, державних і регіональних конференціях.

Зауваження та запитання до дисертації:

1. При аналізі сучасного стану питання у першому розділі слід було більш ретельно висвітлити сучасні дослідження стосовно аналізу процесу деформування непологих усічених конічних оболонок при суттєво неоднорідному НДС – повздовжнє стискання силою та наявність моменту кручення або зовнішнього тиску.

2. В другому розділі доцільно було вказати перевагу обраного скінченного елемента (CE) SHELL 281 у порівнянні з подібними елементами, які застосовуються в ПК ANSYS, вісесиметричний елемент SHELL 108 / 109 або чотирикутний CE 181.

3. В третьому розділі, за даними експериментальних досліджень отримано емпіричну залежність для пологих конічних оболонок, що розглядаються за умови періодично неоднорідного в окружному напрямку НДС, обумовленому періодично дискретним закріпленням краю оболонки. Доцільно було б зробити більш детальне дослідження у напрямку виявлення причин, чому змінюваність неоднорідного в окружному напрямку НДС при виникненні ефекту статичного резонансу конічної оболонки з дискретним закріпленням залежить не тільки від

рішення динамічної задачі на власні коливання оболонки з однорідним закріпленням краю, але й від рішення лінійної біфуркаційної задачі.

4. За даними чисельного дослідження у середовищі ПК ANSYS пологих тонкостінних конічних оболонок отримано якісні і кількісні результати для подальшого аналізу неоднорідного НДС при дії комбінованого навантаження зовнішнім однорідним тиском та силою, прикладеною у точці. На мій погляд, слід було додатково провести розрахунки для випадків комбінованого навантаження, коли кількість прикладених до оболонки сил більша, ніж одна.

5. У п'ятому розділі, дослідження процесу деформування та втрати стійкості пологих тонкостінних конічних оболонок при дії вітрового навантаження виконувалось на базі розробленої автором розрахункової схеми розподілення інтенсивності зовнішнього тиску по поверхні оболонки. При моделюванні процесу деформування у середовищі ПК ANSYS полага конічна оболонка втрачала стійкість з навітряної сторони. Як змінилася б форма втрати стійкості, якщо розподілення інтенсивності прикладеного до поверхні тиску буде більш подібне до моделі розподілення тиску на сферичній оболонці?

Загальна оцінка роботи

1. Розглянута дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані результати. Вирішені конкретні наукові задачі з уточненні існуючих та розробці нової методики проектування пологих тонкостінних конічних оболонок при зовнішньому тиску та неоднорідному напружено-деформованому стані – що має практичне значення для спеціалістів у галузі з проектування тонкостінних оболонок.

2. Наукові результати дисертації мають новизну, що полягає у розробленні наукових положень та практичних рекомендацій щодо розрахунку пологих тонкостінних конічних оболонок при зовнішньому тиску та неоднорідному НДС.

3. Практичні результати полягають у використанні при проектуванні пологих тонкостінних конічних оболонок в умовах, що спричиняють періодично неоднорідний або суттєво неоднорідний НДС на об'єктах промислового і цивільного будівництва, а також запропоновано методичні рекомендації проектування та розрахунку пологих тонкостінних конічних оболонок при зовнішньому тиску та неоднорідному НДС, а також у створенні вдосконаленої моделі вітрового навантаження конічної оболонки на основі існуючих моделей для конструкцій іншої форми (циліндр та сфера) у нормативному документі ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження та впливи».

4. Дисертаційна робота написана грамотно з використанням сучасної наукової і технічної термінології, включає ілюстративний матеріал і відповідні змістовні таблиці. Поставлені мета і задачі досліджень здобувачем виконані, наукова новизна і практичне значення одержаних результатів не викликає сумнівів.

5. Автореферат і видані здобувачем роботи достатньо висвітлюють основні результати проведених досліджень та свідчать про достатню апробацію результатів роботи.

6. Дисертаційна робота має конкретне впровадження в складі науково-дослідницьких робіт Придніпровської державної академії будівництва та архітектури «Міцність, жорсткість, стійкість і коливання однорідних і неоднорідних стержнів, пластин, оболонки та композитних конструкцій, включаючи об'єкти біологічного походження» (номер державної реєстрації 0116U006049), що підтверджено відповідними актами.

7. Наведені зауваження не впливають на позитивну оцінку дисертації в цілому. Вона відповідає спеціальності 05.23.17 – будівельна механіка.

8. Дисертація відповідає діючим вимогам, що пред'являються до кандидатських дисертацій (п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів»), а здобувач **Бессмертний Ярослав Олегович** заслуговує надання йому наукового ступеню кандидата технічних наук.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри фундаментальної
та прикладної математики
Запорізького національного університету,
заслужений діяч науки і техніки України

В.З. Гришак

Підпис професора Гришак В.З. засвідчую
Вчений секретар Вченої ради
Запорізького національного університету



О.А. Проценко